

6) 国際地震工学センター

6) - 1 地盤ばね等の境界条件が極大地震時上部構造地震応答に与える影響に関する基礎研究【安全・安心】

Study on effects of boundary conditions regarding soil springs to seismic responses of superstructures

(研究開発期間 平成 29～令和元年度)

国際地震工学センター 小豆畑 達哉
International Institute of Seismology and AZUHATA Tatsuya
Earthquake Engineering

To evaluate the actual seismic performance of buildings to gigantic earthquakes, we need to grasp seismic response effects accurately. The author studied some safety margins included in the seismic design forces of structures, which we usually determine by assuming they have the fixed bases without soil springs. He showed the lateral seismic forces and seismic responses of some buildings, which are allowed uplifting or have relatively flexible soil springs, can be reduced than those of buildings with fixed bases.

【研究開発の目的及び経過】

南海トラフ等を震源とする極大地震の発生が危惧される中、地域単位で生じる地震動予測が関係機関により行われている。こうした予測地震動による応答スペクトルは固有周期帯によっては現行基準の構造性能検証用の応答スペクトルを上回る場合もある。また、近年の地震動予測の動向として、震源や地域の特性に応じ長周期のみならず短周期の範囲も含め地震動の周波数特性がより詳細に評価されつつある。

現行基準では、時刻歴応答解析によらない場合、上部構造の設計用地震力は、基礎固定の仮定の下、層せん断力分布を A_i 分布として設定される。しかしながら、地盤ばねの影響が大きい場合や浮上りが生じる場合、上部構造への地震入力は基礎固定の場合より抑制され、その地震応答は剛体モードが卓越したものとなるため、実際の地震力は基礎固定の仮定に基づく設計用地震力とは様相を異にする。

このように設計用地震力と実際の地震力に違いが生じたとしても、多くの場合で、基礎固定の仮定は、安全側となり、地震力レベルが現行基準を上回った場合の余裕度分とも見込まれるため、基礎固定の仮定を用いることは、必ずしも不合理ではないと考えられる。一方で、地震動のレベルや周波数特性がより詳細に明らかにされれば、建築物の応答をより明示的に評価する必要性も生じる。予測地震動の確度が高いと判断され、それが現行建築基準で想定される地震力レベルを上回るものとなる場合には、基礎固定の仮定に含まれる余裕度等の検証に迫られることになる。

本研究では、このような状況認識に基づき、(1) 境界条件が基礎固定とならない場合の上部構造地震力の検討、及び、(2) 基礎固定の仮定に基づく地震力評価に含まれる余裕度検討に取り組む。

【研究開発の内容】

上記の検討内容について、具体的には、以下のような研究を実施した。

- (1) 浮き上り許容構造の地震力検討： 建築構造物が極大地震を受け、浮き上りを生じるに至った場合に上部構造に生じる地震力を検討する。
- (2) 基礎固定の仮定に基づく地震力評価に含まれる余裕度検討： 浮き上りを許容した構造のほか、地盤ばねの影響を受けやすい構造を検討対象に加え、これらの地震応答と基礎固定の場合の地震応答とを比較検討する。

【研究開発の結果】

- (1) 浮き上り許容構造の地震力検討

図 1 は、10 質点を有するせん断系モデル(塔状比: 4)を対象に、基礎固定とした場合と浮き上りを許容した場合の地震応答を各層せん断力係数に着目して比較したものである。入力地震動は BCJ L2 波であり上部構造は弾性を保持するとする。また、静的に水平力を作用させた場合の各層せん断力係数も参考として示している。静的に水平力を作用させた場合には浮き上りが生じた時点で頭打ちとなる。図 1 によれば浮き上りを許容した構造モデル(Rocking)の地震応答は基礎固定(Fixed base)のそれを明らかに下回っているが、静的な浮き上り限界は上

回っている。高次モードは浮き上りを生じても頭打ちとならず、また構造物が浮き上りを生じた瞬間での高次モードの発現も考えられる。

図2では、浮き上り許容の場合の地震応答を、自由振動解を用いて予測することを検討したものである。自由振動の初期速度の与え方として基礎固定時の1次から3次までの固有モードの組み合わせを考えたもの(Free vib (1)と(2))と1次モードのみに基づき初期速度を与えて自由振動解を求め、これに基礎固定の2次、3次相当の地震層せん断力係数を組み合わせたもの(Prediction)を時刻歴応答解析結果と比較している。図から、このような自由振動解によっても高次モードの影響を把握できることが明らかである。

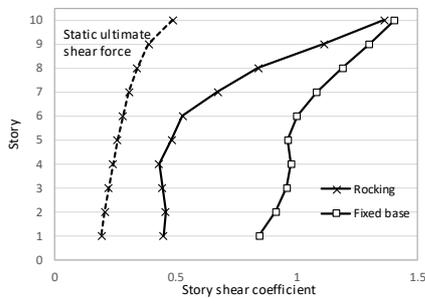


図1 浮き上り許容と基礎固定の場合の地震応答の比較

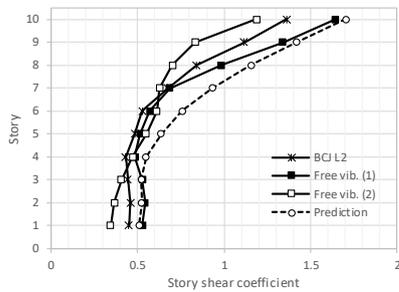


図2 自由振動解を用いた高次モードの影響評価

(2) 基礎固定の仮定に基づく地震力評価に含まれる余裕度検討

地盤ばねの影響が含まれる建築構造物の地震応答と基礎固定とした場合の地震応答との差異について、解析と地震観測の両面から検討を行った。ここでは、地震観測記録から検討した一例を示す。分析対象は、国土技術政策総合研究所により建物と地盤で同時に地震観測された10棟である。図3では、建物EDGについて建物上部で観測された記録と基礎固定を仮定して求めた地震応答とを比較している。これによると基礎固定に比べ実際の地震応答は5割程度にまで低減されている。これについ

て図4のように地盤ばねを地震記録から同定し、さらに、SRモデルを使って地盤ばね考慮の場合と基礎固定の場合の地震応答を比較し結果を図5に示している。同図によっても建物EDGの場合は地震応答が半分程度にまで低減されていることが分かる。

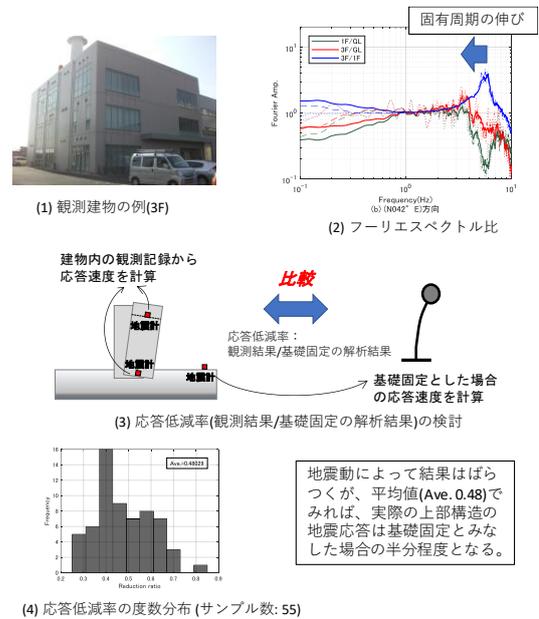


図3 地震観測記録の分析結果例(建物EDG) (1)

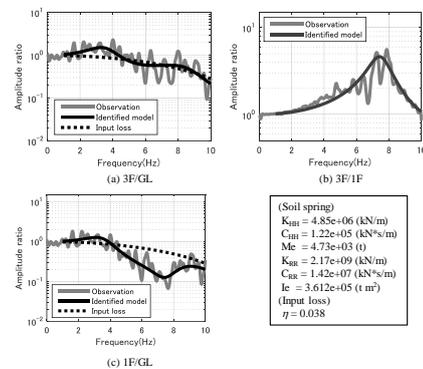


図4 地盤ばね等の同定結果(建物EDG)

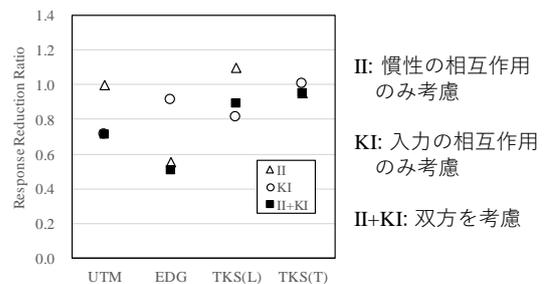


図5 地震観測記録の分析結果例(建物EDGほか) (2)